

本周看了关于图可视化的几篇论文，寻找一些思路。

1、图的边绑定

边绑定是解决图可视化中视觉混乱的重要方法。从方法的发展历史来看，其源头应该是 Stanford 大学 Pat Hanrahan 在 2005 年提出的 Flow Map Layout。Pat Hanrahan 在论文中采用层次聚类的方法生成 flow map，并通过计算聚类包围盒调整节点的位置，减少边与包围盒的交叉，进而减少视觉混乱，最终结果如图 1。

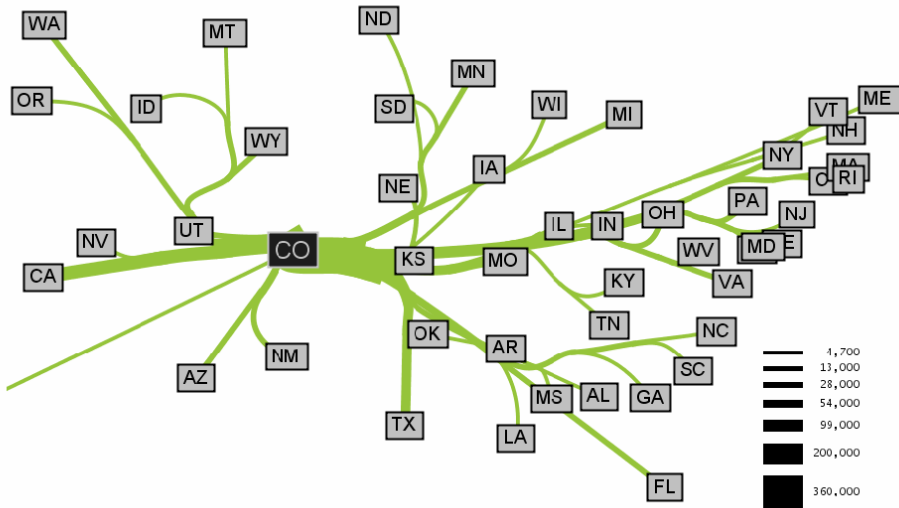


图 1 1995-2000 年 Colorado 的人口迁移图

但是 2006 年 Holten 在 “Hierarchical Edge Bundles: Visualization of Adjacency Relations in Hierarchical Data” 中采用了另外的方法实现层次边绑定，他构造了 B 样条曲线将一些相邻的边组合在一起构成束，从而减少视觉混乱。

在随后的“Force-Directed Edge Bundling for Graph Visualization”是 Danny Holten 继 Hierarchical Edge Bundling 之后实现了图的边绑定。论文提出了一种自组织的边绑定方法，将边建模成灵活的弹簧，同时这些边还能相互吸引，这样相互邻近的边在中间被绑在一起，而在两端又能够展开。论文采用力引导模型，分析两条直线段之间在静电引力和弹力作用下的受力状况，并给出边 P 上某点 p_i 的受力公式：

$$\mathbf{F}_{p_i} = k_P \cdot (\|p_{i-1} - p_i\| + \|p_i - p_{i+1}\|) + \sum_{Q \in E} \frac{1}{\|p_i - q_i\|},$$

with

k_P : spring constant for each segment of edge P ,
 E : set of all interacting edges except edge P .

由于上述公式容易产生过绑定的情况，所以作者加入了四项 compatibility 因子来控制相互作用边的数量，分别为：angle compatibility, scale compatibility, position compatibility, 以及 visibility compatibility。这些因子针对四种特殊情况调整两条边之间的作用力大小，分别是近乎垂直边、长度差别很大的边、位置相离太远的边和平行但错位较大的边。通过调整并且进行平滑后处理后，其结果如图 2 所示。



图 2 美国人口迁移图（1715 节点，9780 条边）

其实在这篇论文之前，香港科大屈老师他们也做了关于图的边绑定工作，称为基于几何的边绑定（GBEB，本文为基于力引导的边绑定 FDEB）。由于 GBEB 需要用户参与调整样条曲线的控制点，在一定程度上限制了算法的效率，因而后来的边绑定大都参考 FDEB 方法。

2、图可视化的综述

边绑定只是近些年来关于图可视化发展的一个方向，德国的 Landesberger 在 2011 年总结了 2000 年之后关于大图可视化的最新进展，并提出未来图可视化的可能发展方向。论文从一开始就引用 Keim 的可视分析理论阐述了可视分析在大图可视化中的重要作用，提出大图可视化分析主要包含四个方面的研究：图布局、可视映射、交互以及图分析算法。图 3 描述了作者对图可视化研究方向的理解。

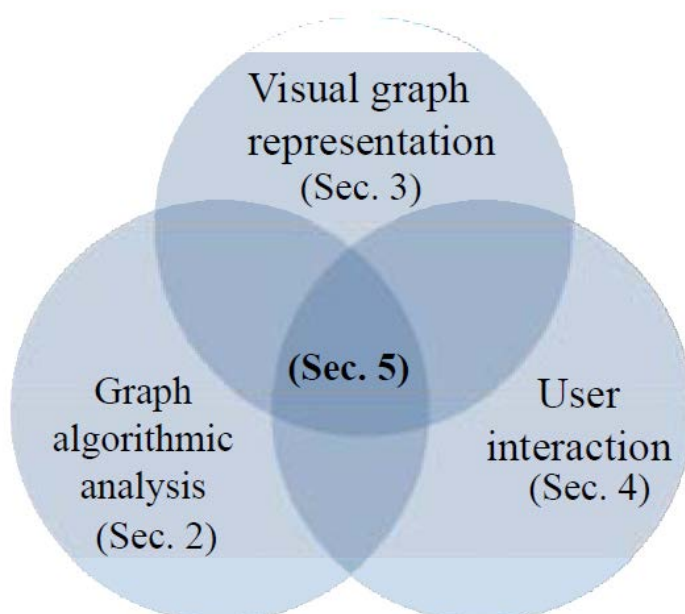


图 3 可视化图分析的主要组成及其关系

作者认为，图分析主要包含三方面的任务：理解图的整理和局部结构特征、了解实体之间的连接关系以及发现紧密连接实体的聚类情况。从图的结构特征上看，图可以分为树、网络（有向且边有权重）、复合图（图中有树）以及聚合图（有聚类的图）。另外还存在一些特殊的图，如小世界网络、无尺度网络以及二部图等。近年来复杂图以及带有时序特征的动态图逐渐成为研究的热点。然而无论是哪种图，对图研究最多的属性仍然是节点数、图密度以及连接关系。

对于大图的分析来说通常都要经历四个基本过程：预处理、可视化、交互以及分析。预处理通常由算法自动实现，主要有两类方法：图过滤（采样一些节点，使节点数减少但整体结构不变）和图聚合（合并节点和边，减少图的规模但是能揭示节点团体之间的关系）。图的可视化则主要考虑三个方面的标准：一是常规图标准，如减少视觉混乱、减少相邻节点导致的空间误解、以及空间的最大化利用；二是动态图的标准，如最大程度保持稳定性、减少认知负担、最小化时序偏差；三是美学标准，如大图的可读性。

图的可视化技术主要分为三种：基于点线图的方法、基于矩阵的方法以及混合的方法。三种方法各自有不同的应用场景和优缺点，点线图更直观、更简洁、扩展性更好，适用于路径跟踪的任务；而矩阵表示则没有边交叉、节点重叠等问题，更适用于密度较高的图。因此图的布局和矩阵的排序成为图可视化研究问题的核心。

点线图的布局包括：基于力的布局、基于约束的布局、多尺度方法、分层布局以及非标准布局（具体介绍略）。最近有人根据眼动实验结果比较了上述图布局的可读性，发现基于力引导的布局在多项用户任务上比正交布局 and 分层布局要好。

特别需要关注的是复合图的可视化，由于复合图中既有层次关系又包含连接关系，结构较复杂研究较少。总体来说主要有三种方法：基于点线图的技术，如使用气泡表示层次关系，连线表示连接关系，如图 4；基于树图的方法，树图表示层次关系，连线表示连接关系如图 5；矩阵与连线混合的方法，如图 6。

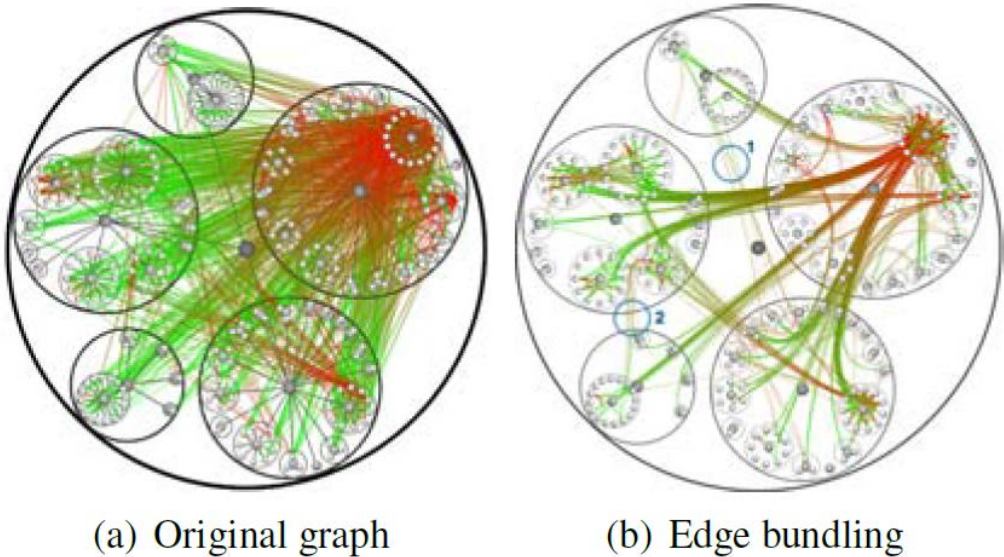


图 4 点线图表示的复合图（原始图和边绑定后结果）

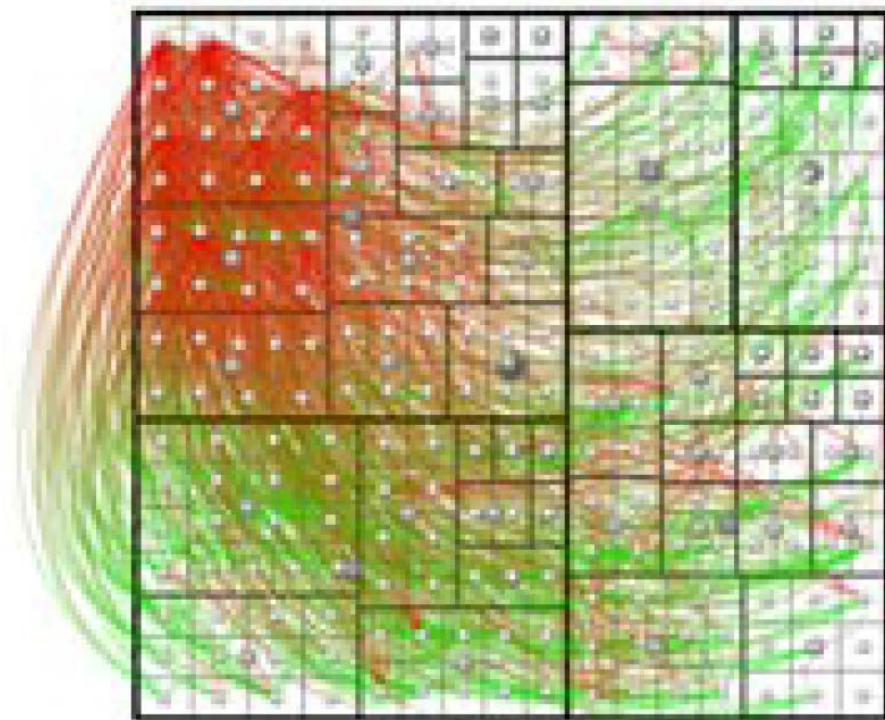


图 5 基于树图的复合图可视化

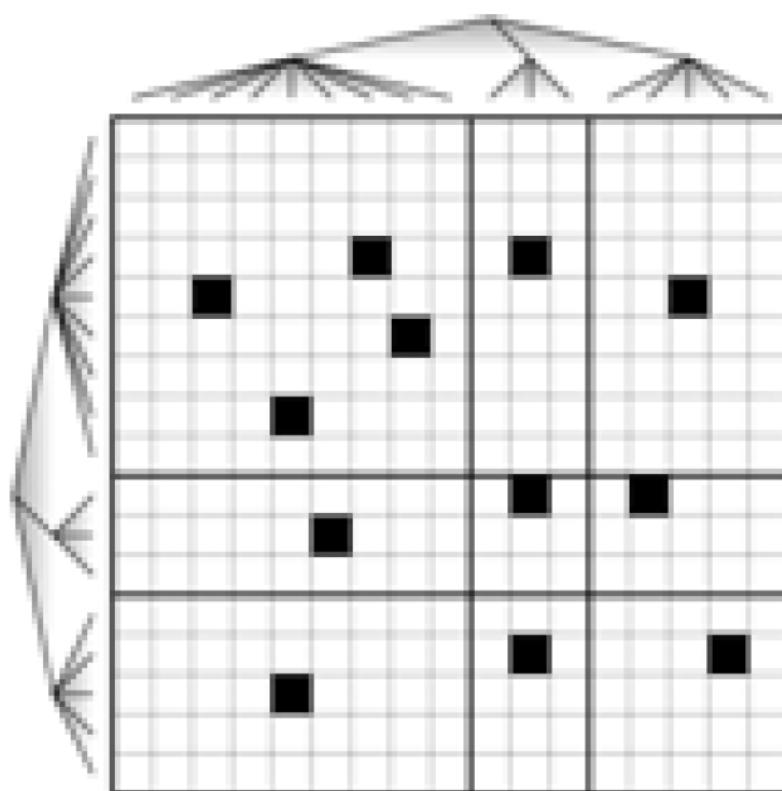


图 6 矩阵与连线混合的表示方法

从交互的作用对象来看，图的交互分为三类：视图交互、视觉抽象交互（参数调整）和数据交互。视图交互只是改变已经显示的数据的视图，方法包括 panning and zooming, magic lenses。视觉抽象交互是改变图的视觉呈现和相应的视觉参数，主要方法包括：highlighting, brushing & linking, semantic zooming, layout change, change of visual representation。数据交互

是最底层的交互方法，影响到究竟哪些数据被显示，甚至会改变数据的值和数据的结构。主要方法包括：数据过滤、图编辑、交互式聚类等。

图的可视分析终极目标是图分析，图分析的任务主要包含两个方面：图结构分析和图比较。图结构分析的主要目标是确定实体在图中的关系以及在整个图结构中有怎样的作用。图结构分析又包含五个方面的子任务：

- 1、识别重要节点
- 2、分析两个节点之间的连接关系，如计算并高亮最短路径
- 3、分析图的子结构，如社团发现、前驱图
- 4、在不同的聚类级别分析图结构，如用户自定义或数据驱动级别
- 5、识别图的改变对结构属性的影响，如时序图。

作者最后指出未来可能需要发展的一些领域和方法。首先是绘图的扩展性相关的一些问题，如更快、可读性更强地画图。可以采取并行方式，或者自动化与交互并存的方式。同时要理解图，其实还需要多种标注，如何更好地让标注与节点和边共存也是值得研究的。其次是关于图的类型，其中大规模的动态图和复合图是未来可视化的重点。动态图需要注意布局稳定性和在线绘图。复合图则是如何表示复杂的数据结构，让用户在不同抽象层次上理解图结构。再者，图的不确定性、图可视化的感知问题也值得研究。最后是目前仍缺乏与图相关的可视化分析系统，可以考虑一些具有特色的系统，如能综合分析多种数据类型的系统、注重新分析任务的系统、协同分析系统、以及针对特殊应用领域（生物化学）的分析系统。

通过阅读这篇综述论文，我逐渐理清了下一步工作的思路。纯粹的绘图技术其实已经相当成熟，如 AT&T 实验室通过 GPU 加速已经能绘制十亿规模的节点。以分析为目标，自动方法与可视化相结合才是未来图可视化的主流发展方向。接下来，我想以通话记录数据为研究对象，采取一定的图分析技术（首先过滤掉一些不重要的点，再聚类）构建模型（应该也是复合图），在此模型的基础上采取一定的可视化技术（矩阵和点线图）分析数据中隐含的模式。